

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 3月19日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-076295

[ST.10/C]:

[JP2003-076295]

出 願 人

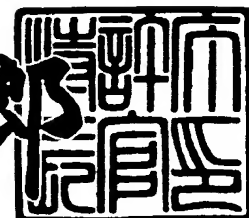
Applicant(s):

三菱電機株式会社

2003年 6月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3043752

【書類名】 特許願

【整理番号】 545309JP01

【提出日】 平成15年 3月19日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H02P 9/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 吉田 康夫

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 神保 紘史

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 江上 隆敏

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 平野 嘉仁

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 安藤 俊行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 中山 仁

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100073759

【弁理士】

【氏名又は名称】 大岩 増雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100093562

【弁理士】

【氏名又は名称】 児玉 俊英

【選任した代理人】

【識別番号】 100088199

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹中 岑生

【選任した代理人】

【識別番号】 100094916

【弁理士】

【氏名又は名称】 村上 啓吾

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 035264

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 風力発電システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 風力発電機、上記風力発電機に取り付けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計を備え、上記レーザ式風向風速計は、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測し、その観測結果に基づいて、上記風力発電機のヨー角・ピッチ角を制御し、上記風力発電機を含む風力発電システムの出力制御を行うことを特徴とする風力発電システム。

【請求項 2】 上記風力発電機は、可変速発電機を備え、上記レーザ式風向風速計の観測結果に基づいて、上記風力発電機の回転数を制御することを特徴とする請求項 1 記載の風力発電システム。

【請求項 3】 風力発電機、上記風力発電機に取り付けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計、上記風力発電機に繋がれる出力平滑化装置を備え、上記レーザ式風向風速計は、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測し、その観測結果に基づいて、上記風力発電機の出力調整量を事前に割り出し、その割り出し条件に基づいて、上記風力発電機および上記出力平滑化装置を含む風力発電システムの出力制御を行い、上記風力発電システム全体の出力平滑化を行うことを特徴とする風力発電システム。

【請求項 4】 上記出力平滑化装置は、上記レーザ式風向風速計が観測した風が、上記風力発電機に到達する時点で、上記風力発電システムの出力変動を打ち消すように出力制御を行うことを特徴とする請求項 3 記載の風力発電システム。

【請求項 5】 上記風力発電機は、可変速発電機を備え、上記風力発電システムの出力周波数変動および出力電圧変動を規定内とするように出力制御を行うことを特徴とする請求項 4 記載の風力発電システム。

【請求項 6】 上記出力平滑化装置は、蓄電池、無効電力補償装置及び出力制限抵抗のいずれかによって構成されることを特徴とする請求項 3 または請求項 4 記載の風力発電システム。

【請求項 7】 上記レーザ式風向風速計は、上記レーザ式風向風速計から上

記風力発電機前方に射出されたレーザ光が、上記風力発電機の位置から任意距離だけ離れた位置に存在する、空気中に浮遊し、風に乗って風速と同速度で移動するエアロゾルに当たって反射する反射波を捉え、上記レーザ光とその反射波との間のドップラー効果による位相差を検出することにより、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測することを特徴とする請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 項に記載の風力発電システム。

【請求項 8】 上記風力発電機が複数台配置されるウィンドファームにおいて、上記ウィンドファームに配置される 1 機または数機の上記レーザ式風向風速計の観測結果に基づいて、上記ウィンドファーム全体の出力平滑化を行う請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 項に記載の風力発電システム。

【請求項 9】 上記風力発電機が繋がれる電力系統に対して、同様に繋がれた他発電手段を備え、上記レーザ式風向風速計の観測結果に基づいて、上記風力発電機と上記他発電手段を含む風力発電システムの出力制御を行い、上記風力発電システム全体の出力平滑化を行う請求項 1 または請求項 3 記載の風力発電システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、風力発電機前方の風況を事前に観測し、風力発電機の高効率運転制御を行うか、または風力発電機を含めたシステム全体の出力制御や、出力平滑化を行う風力発電システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来の、風況を予測する風力発電システムは、電波を利用したドップラーレーダを用いて風力発電機前方の風ベクトルを測定し、その風ベクトルから風力発電機の出力値を予測し、予測出力値に基づいて、電力系統側発電機の出力制御を行うものである（例えば、特許文献 1 参照。）。

【0003】

また、別の風力発電システムとして、風力発電機とディーゼル発電機を組み合

わせたものがあり、風力発電機の周囲に配置された風速計の実測値に基づいて、風速のデータベースから、風力発電機が発電するエネルギー出力値を算出する。算出された出力値が上がる場合はディーゼル発電機を停止させ、出力値が下がる場合はディーゼル発電機の運転がなされる。（例えば、特許文献 2 参照。）。

【0004】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 2 - 1 5 2 9 7 5 号公報

【特許文献 2】

特開平 1 1 - 1 5 9 4 3 6 号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

従来の、特許文献 1 の風力発電システムでは、風況予測情報を他発電機の出力抑制制御で吸収するのみであり、風力発電機自体の性能向上やシステム全体の効率向上をはかることができないという問題があった。

【0006】

また、特許文献 2 の風力発電システムでも、風力発電機と組合わされたディーゼル発電機を制御することで一定の電力を供給するのみであり、風力発電機自体の性能向上をはかることができないという問題があった。

【0007】

風力は環境に最もやさしい自然エネルギーの一つであり、その高効率利用は社会的に非常に望まれている。しかし、風力発電機の構造が単純なために、機械的な技術革新が非常に困難であるという問題があった。

【0008】

この発明は、上記のような問題点を解消するためになされたもので、風況を予測して風力発電機システムの高効率運転制御を行うか、または風況を予測して出力安定（平滑）化することが可能な風力発電システムを得ることを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

この発明に係わる風力発電システムは、風力発電機、上記風力発電機に取り付

けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計を備え、上記レーザ式風向風速計は、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測し、その観測結果に基づいて、上記風力発電機のヨー角・ピッチ角を制御し、上記風力発電機を含む風力発電システムの高効率化運転制御を行うものである。

【0010】

また、この発明に係わる風力発電システムは、風力発電機、上記風力発電機に取り付けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計、上記風力発電機に繋がる出力平滑化装置を備え、上記レーザ式風向風速計は、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測し、その観測結果に基づいて、上記風力発電機の出力調整量を事前に割り出し、その割り出し条件に基づいて、上記風力発電機および上記出力平滑化装置を含む風力発電システムの出力制御を行い、上記風力発電システム全体の出力平滑化を行うものである。

【0011】

【発明の実施の形態】

実施の形態 1.

以下、この発明の実施の形態 1 を図 1 ないし図 6 を用いて説明する。

図 1 は風力発電機（風車）を側方から観察した断面図である。図 1 に示すように、台座 1 上にタワー部 2 が築かれ、タワー部 2 の上部にはヨー角制御駆動装置 50 が設けられている。さらにその上部には、ヨー角制御駆動装置 50 の駆動によって水平面内で回転制御されるナセル 20 が配置される。風車の制御においては、風の向きが変わった場合、風車のプロペラ回転面が常に風を真正面に受けるように制御することが望ましく、この時に変化させるのがヨー角であり、ヨー角の制御をヨー制御という。ヨー角はナセル 20 を水平面内で回転させることで変化させることができる。

【0012】

プロペラ型風車の羽根（翼）部分であるブレード 10 が、ハブ（ブレード 10 の取り付け部分。） 11 を介して回転軸 12 に取り付けられ、ブレード 10 の角度がピッチ角制御駆動装置 60 の駆動によって制御される。風のエネルギーを有効に活用するためには、風を受けるブレード 10 の角度を最適な状態にする必要

があり、この時のブレード10の角度をピッチ角（ブレードアングル。）という。また、回転軸12に繋がれる発電機30、増幅器（図示せず。）などがナセル20内に格納されている。プロペラ回転面は、ブレード10が配置された、回転軸12に対して垂直な面である。

【0013】

ナセル20上部には、レーザ光210を射出して、風力発電機前方（任意距離だけ離れた位置。）のエアロゾル150に照射し、その反射光215を検出する風速検出用光学系部（以下、光学系部とする。）200が配置される。エアロゾル150とは、風に乗って風と同速度同方向に動く空気中の塵であり、このエアロゾル150の移動状態を把握することで、同位置における風向風速を観測できる。反射光215から得られた情報（エアロゾル150の風向風速データ。）は、光ファイバー130を介して風向風速計本体部（以下、本体部とする。）100に送られる。本体部100において、反射光215から、エアロゾル150の風向風速を算出するためのデータを取り出して加工する。

【0014】

本体部100で得られた風向風速データは、通信系部131を介して風向風速計信号処理部（以下、信号処理部とする。）300に送られる。信号処理部300において、エアロゾル150の風向風速データに基づいて、風力発電機に向ってくる風、すなわち近未来（数秒から数十秒後。）に発電に利用する風の風況（風向風速および風の到達時間など。）を予測する。主に本体部100と光学系部200と信号処理部300によってレーザ式風向風速計が構成される。

【0015】

この信号処理部300が算出した風況予測データを、通信系部132を介してコントローラ40に送信し、コントローラ40は与えられた風況データを基に、ヨー角制御駆動装置50やピッチ角駆動制御装置60に通信系部70、75を介して指令を与え、ヨー角駆動制御装置50がヨー角を変化させ、ピッチ角駆動制御装置60がピッチ角を変化させることにより、風力発電機の高効率運転、すなわち風力エネルギーの高効率利用を可能にする。また、コントローラ40は、現在のヨー角、ピッチ角、風車軸回転数（回転数、または回転速度。）を常にスキ

ャニングして把握している。

さらに、発電機 3 0 に繋がる電力ケーブル 8 2 は、出力端となる電力系統 8 4 に接続され、発電機 3 0 と電力系統 8 4 の間には、出力平滑化装置 8 0 が、必要により電力変換装置 8 1 を介して接続配置され、電力系統 8 4 と電力変換装置 8 1 の間には変圧器 8 3 が配置されている。

【 0 0 1 6 】

風車の回転数は、固定若しくは段階的にのみ調整可能なものか、あるいは定められた範囲内で連続的に調整可能なものとする。

なお、レーザ式風向風速計の光学系部 2 0 0 は、ヨー角を可変とすれば、風力発電機のタワー部 2 とやや離れた地上に配置してもよく、風力発電機付近にポール状のものを立て、その上部に設置してもよい。また、タワー部 2 の側面に設置してもよい。

また、ブレード 1 0 は風を受け風力エネルギーを回転力に変換するもので、このブレード 1 0 の回転エネルギーを電力に変換するのが発電機 3 0 である。

なお、コントローラ 4 0 若しくは他の制御機構によって、ヨー角、風車回転数や現在の風向風速等の風力発電機制御に必要な諸量を取り込んで解析し、風力発電機の各制御駆動装置（例えば、ブレーキ設備など。）にも制御指令を出している。

【 0 0 1 7 】

次に、本発明にかかるレーザ式風向風速計の構成および原理の一例について、図 2 を用いて説明する。レーザ式風向風速計は、上述したように、主に、本体部 1 0 0 と、光学系部 2 0 0 と、信号処理部 3 0 0 から構成されている。本体部 1 0 0 のレーザ光源 1 0 1 （例えば半導体レーザ。）から出たレーザ光 2 1 0 は、その一部が光ファイバ 1 0 2 によって光受信機 1 0 5 に送られ、その他の光はサーキュレータ 1 0 4 を通って光スイッチ 1 0 3 に送られる。光スイッチ 1 0 3 は、入力した光の一部をトリガ 1 0 6 として A D 変換器 3 1 0 に送り、それ以外の光を光学系部 2 0 0 に送る。光学系部 2 0 0 は、例えば、水平風速検出用光学系部 2 0 0 a および垂直風速検出用光学系部 2 0 0 b の二つによって構成され、送られた光は、水平、垂直風速検出用光学系部 2 0 0 a 、 2 0 0 b にそれぞれ分割

して送られる。

【0018】

光スイッチ103から、水平風速検出用光学系部200aに送られてきた光は、1/2波長板201を通して望遠鏡202に送られる。望遠鏡202を出た光は偏向ビームスプリッタ203を通過するP偏光205と、これに反射されるS偏光206に分けられ、P偏光205はそのまま外部に射出され、S偏光206は全反射鏡204に反射され、外部に射出される。垂直風速検出用光学系部200bについても、水平風速検出用光学系部200aと同様の構成であり、P偏光207、S偏光208が外部に射出される構成となっている。

【0019】

なお、水平風速検出用光学系部200aから射出されるP偏光205、S偏光206は、水平面内の異なる2方向にそれぞれ射出され、垂直風速検出用光学系部200bから射出されるP偏光207、S偏光208は、垂直面内の異なる2方向にそれぞれ射出される。

P偏光205、207、S偏光206、208は、図1に示すレーザ光210に相当している。

【0020】

光学系部200から射出されたレーザ光210であるP偏光205は、エアロゾル150に当たって反射し、反射光（例えば図1で示す反射光215に相当する。）となって光学系部200に戻ってくる。この様子は後述する。この反射光215は射出経路と逆の経路を辿って、光学系部200から本体部100に送られる。反射光215（必要となるデータ以外に、ノイズを含んでいる。）は、光スイッチ103を経てサーキュレータ104に送られ、サーキュレータ104は必要となる反射光215のみを選択して光受信機105に送る。光受信機105は、レーザ光源101より直接送られてきたレーザ光210と反射光215を検出信号107とし、AD変換器310に送る。AD変換器310はアナログの光信号であるトリガ106と検出信号107をデジタル信号に変換し、受信信号311として信号処理部300に通信系部131を介して送る。受信信号311を受け、信号処理部300は、後述する所定の計算を行い、レーザ光210の焦点

(焦点の位置はエアロゾル 1 5 0 の位置に相当する。)での風向風速を算出(観測)する。さらに、その風向風速データ(観測結果)に基づいて、風況を予測し、必要な制御情報をコントローラ 4 0 に通信系部 1 3 2 を介して送る。

【0 0 2 1】

なお、レーザ光 2 1 0 は、連続波のものを用い、特に波長 1 5 0 0 n m 程度のものを用いると、最もエアロゾル 1 5 0 からの反射光が強く、風況の検出精度が良い。同時に、1 5 0 0 n m 程度の波長のレーザ光は人間の目にも最もやさしいという性質があり、安全性に優れている。

また、レーザ光 2 1 0 は、本例のような連続波を利用するものの他に、パルス波を利用する方式のものもあり、いずれを用いても良い。さらに、場合によっては、ナセル 2 0 上部に機械式風向風速計を配置し、この機械式風向風速計のデータをも用いることで、風向風速測定精度を向上させても良い。

ドップラー効果を利用した風向風速の検出の場合、用いるレーザ光、音波などの波長に反比例して、検出精度が良くなることが知られており、例えば音波とレーザ光では、より波長の短いレーザ光を用いる場合の方が、風況を精度良く検出することができる。

【0 0 2 2】

次に、水平風速検出用光学系部 2 0 0 a から射出された P 偏光 2 0 5、S 偏光 2 0 6 について、図 3 をもとに説明する。光学系部 2 0 0 から P 偏光 2 0 5 と S 偏光 2 0 6 が、それぞれ水平面内に、任意の方向を基準として、角度 $+\theta$ と $-\theta$ 方向に射出され、望遠鏡 2 0 2 のレンズによって焦点距離 R (任意距離に相当する。)だけ離れた位置で集光する。集光点近くにあるエアロゾル 1 5 0 で光が反射され、反射光 (P 偏光反射光。) 2 1 5 と反射光 (S 偏光反射光。) 2 1 6 がそれぞれ発生する。エアロゾル 1 5 0 は空気中に相当数含まれているため、集光点以外からもこのような反射波が発生するが、集光点付近からの反射エネルギーが最も大きくなる。この反射波 (反射光 2 1 5、2 1 6。) は速度を持つエアロゾル 1 5 0 から反射されたものであるため、ドップラー効果により周波数が F_D だけシフトする (ドップラーシフト。)。この周波数のずれを測定し、エアロゾル 1 5 0 の速度を算出する。

【0023】

また、垂直風速検出用光学系部200bから射出されるP偏光207、S偏光208は、それぞれ垂直面内で、任意の方向を基準として、角度 $+\theta$ と $-\theta$ 方向に射出される。このように、レーザ光210を、少なくとも3方向若しくは4方向に射出し、それぞれのデータを得ることで、風力発電機の前方におけるエアロゾル150の3次元での風速ベクトルを検出することができる。また、2方向のみにレーザ光210を射出した場合では、2次元での風速ベクトルを検出可能である。

なお、レーザ光210の射出角度は、観測対象となるエアロゾル150までの距離等の条件によっても変化するが、およそ $\theta = 5^\circ$ 程度とすると良い。

【0024】

次に、信号処理部300において風速を算出する手法例について説明する。反射光215、216の情報は、レーザ光源101から直接得た情報とあわせて検出信号107とし、トリガ106と共に受信信号311として受信し、レーザ光源101の周波数と反射光215、216とのドップラースhift F_D を算出する。次に、 F_D とレーザの波長 λ 、エアロゾルの速度 V_m の間には、次の数式(1)のような関係がある。

【数1】

$$F_D = 2 \frac{V_m}{\lambda} \quad \dots\dots (1)$$

これにより、 $\pm\theta$ 方向の風速 $V_m(+\theta)$ と $V_m(-\theta)$ が算出される。また、風速 V_r (r 方向とは、水平面内での $\theta = 0$ に沿う方向。)と V_x (x 方向とは、水平面内での、 $\theta = 0$ に対して垂直な方向。)が、次に示す数式(2)、数式(3)を用いて算出できる。

【数2】

$$V_r = \frac{V_m(-\theta) + V_m(+\theta)}{2} \cdot \cos\theta \quad \dots\dots (2)$$

【数 3】

$$V_x = \frac{V_m(-\theta) - V_m(+\theta)}{2} \cdot \sin \theta \quad \dots\dots (3)$$

このような計算を、垂直風速検出用光学系部 2 0 0 b で得られるデータに対しても行い、水平風速検出用光学系部 2 0 0 a で得られるデータとあわせて、3次元での風速ベクトルが算出でき、高精度でエアロゾル 1 5 0 の風向風速を測定できる。

【0 0 2 5】

本発明にかかるヨー角制御ロジック例を、図 4 (a) のフロー図を用いて説明する。まず、レーザ式風向風速計により、現在時刻 τ における X [m] 先（風力発電機から任意距離だけ離れた位置。）の風向風速を測定する（ステップ 4 0 1.）。得られた風向風速データを基に、t 秒後に風力発電機が受ける風の風向 ψ ($\tau + t$) を算出する（ステップ 4 0 2 a.）。例えば、4 0 0 m 先の風向風速を測定した場合、風速 1 0 m の風が、風力発電機に向かって吹いていれば、その風が 4 0 秒後に風力発電機に到達すると予測でき、4 0 秒後に風力発電機が発電に利用する風の風向風速変化を高精度で予測することができる。エアロゾル 1 5 0 の風向風速データから、近未来に風力発電機に吹く風を予測するには、計測したエアロゾル 1 5 0 の風向風速と、実際に到達する風の風向風速のデータベースを作成しておき、これを基に、演算を行うという方法がある。ここまでの処理は、レーザ式風向風速計により行い、予測した風向風速および到達時間などのデータ（観測結果を含むデータ。）は、通信系部 1 3 2 を介してコントローラ 4 0 に送られる。

【0 0 2 6】

コントローラ 4 0 から、通信系部 7 0 を介して、ヨー角制御駆動装置 5 0 に送られるヨー角制御信号の送信間隔を Δt （例えば 1 秒。）とすると、時刻 τ 現在に予測できている風向、即ち最適ヨー角は、次の数式（4）のように示される。

【数 4】

$$\psi(\tau+\Delta t), \psi(\tau+2\Delta t), \psi(\tau+3\Delta t), \dots; \psi(\tau+i\Delta t), \dots; \psi(\tau+n\Delta t) \quad (n=t/\Delta t)$$

..... (4)

そして、現在のヨー角を $\phi(\tau)$ とすると、予測制御可能な未来のヨー角は、次の数式 (5) のように示される。

【数 5】

$$\phi(\tau+\Delta t), \phi(\tau+2\Delta t), \phi(\tau+3\Delta t), \dots; \phi(\tau+i\Delta t), \dots; \phi(\tau+n\Delta t) \quad (n=t/\Delta t)$$

..... (5)

【0 0 2 7】

このとき、ヨー角の最大回転角速度を ω (例えば 0.7 度/秒。) とし、次の数式 (6) の条件を満たし、さらに次の数式 (7) を最小とするようにヨー角を決めることで、ヨー角を最適化する (ステップ 4 0 3 a。)。

【数 6】

$$\left| \frac{\phi(\tau+(i+1)\Delta t) - \phi(\tau+i\Delta t)}{\Delta t} \right| \leq \omega \quad (i=0, 1, 2, \dots; n-1)$$

..... (6)

【数 7】

$$\sum_{i=1}^n |\psi(\tau+i\Delta t) - \phi(\tau+i\Delta t)|$$

..... (7)

時刻 $\tau + \Delta t$ でのヨー角制御信号を、コントローラ 4 0 からヨー角制御駆動装置 5 0 に送信する (ステップ 4 0 4 a。)。この信号を受け、ヨー角制御駆動装置 5 0 がナセル 2 0 を回転させてヨー角を変化させる (ステップ 4 0 5 a。)。これを繰り返すことにより、ヨー角を最適に制御することができる。また、当然のことながら、レーザ式風向風速計から得られた風向風速データ (観測結果) を基にして、これ以外の手法でヨー角を予測制御しても良い。

【0028】

次に、ピッチ角制御ロジック例について、図4（b）を用いて説明する。ステップ401については、図4（a）によるヨー角制御の場合と同様である。

このように予測されたヨー角と、数式（4）で示す予測風向風速により、ブレード10が受けるであろう風向風速（風速ベクトル $[v]$ に相当する。）が、次の数式（8）のように高精度で予測できる（ステップ402b.）。

【数8】

$$[v] = \vec{v}$$

$$\vec{v}(\tau + \Delta t), \vec{v}(\tau + 2\Delta t), \vec{v}(\tau + 3\Delta t), \dots, \vec{v}(\tau + i\Delta t), \dots, \vec{v}(\tau + n\Delta t) \quad (n = t / \Delta t) \quad \dots (8)$$

ブレード10の1枚あたりのトルク（風の力を受けて、風車が回転しようとする力であり、単位は $[N \cdot m]$ 。）は、風車軸回転角速度 $[\theta]$ 、ブレード10が受ける風向風速（風速ベクトル $[v]$ に相当する。）、ブレード10のピッチ角 α によって決まるため、時刻 $\tau + i \Delta t$ での風車トルク $T(\tau + i \Delta t)$ は、次の数式（9）で表すことができる。

【数9】

$$[\theta] = \dot{\theta}$$

$$T(\tau + i\Delta t) = \sum_{j=1}^m T_j(\dot{\theta}(\tau + i\Delta t), v_j(\tau + i\Delta t), \alpha_j(\tau + i\Delta t)) \quad (m \text{ は翼の枚数}) \quad \dots (9)$$

この関数 $T_j([\theta], v_j, \alpha_j)$ を予め計測またはシミュレートしておき、コントローラ40または信号処理部300で計算可能なようにしておく。

【0029】

次に t 秒間のピッチ角最適化（ステップ403b.）について述べる。今、風車軸回転角速度 $[\theta]$ は一定で、ブレード10が受ける t 秒後までの風向風速（風

速ベクトル[v]に相当。)が予測できているため、数式(8)を用いることにより、時刻 $\tau + i \Delta t$ で、最大のトルクを取得できる最適ピッチ角 α' ($\tau + i \Delta t$)が算出できる。従って、時刻 τ において予測可能な最適ピッチ角 α' は、次の数式(10)のようになる。

【数10】

$$\alpha(\tau + \Delta t), \alpha(\tau + 2\Delta t), \alpha(\tau + 3\Delta t), \dots; \alpha(\tau + i\Delta t), \dots; \alpha(\tau + n\Delta t) \quad (n = t / \Delta t) \quad \dots (10)$$

ピッチ角駆動の最大回転角速度を ω_p (例えば15度/秒。)とし、次の数式(11)を満たし、次の数式(12)の値が最小となるようにピッチ角を最適化する。

【数11】

$$\left| \frac{\alpha(\tau + (i+1)\Delta t) - \alpha(\tau + i\Delta t)}{\Delta t} \right| \leq \omega_p \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n-1) \quad \dots (11)$$

【数12】

$$\sum_{i=1}^n |\alpha'(\tau + i\Delta t) - \alpha(\tau + i\Delta t)| \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots (12)$$

【0030】

コントローラ40は、ピッチ角が最適角 α となるように、時刻 $\tau + \Delta t$ のピッチ角制御信号をピッチ角制御駆動装置60に送信する(ステップ404b。)。この信号を受け、ピッチ角制御駆動装置60がピッチ角を変化させる(ステップ405b。)。なお、計算に使われる現在時刻 τ での風向風速は、実測値(実データ。)を用いることが望ましく(ステップ406b。)、また、現在時刻 τ でのピッチ角 $\alpha(\tau)$ は、コントローラ40がスキャンニングして得ているピッチ角の、現在の実測値(実データ。)を用いることが望ましい(ステップ407b。)。これを複数枚(主流となっているのは3枚羽根。)のブレード10のそれぞれ

れについて繰り返すことにより、全てのブレード10のピッチ角が最適に制御される。また、当然のことながら、レーザ式風向風速計から得られた風向風速データ（観測結果）を基にして、これ以外の手法で、ピッチ角を予測制御してもよい。

【0031】

従来のピッチ角制御手法では、風速が変化し始めることは感知できるが、ピッチ角を変化させると翼性能に著しく影響を与え、ピッチ角を変化させている間に風向が変化してしまった場合に悪影響がでてしまっていた。また、機械式風向風速計がナセル20上部のブレード10を通った後の後流を計測するために、ブレード10から約1秒周期（風車回転数に応じて変化する。）の影響を強く受けることになり、1秒間の平均値を基にピッチ角を変化させることしかできなかった。また実際の制御時には機械の応答遅れ等があるので、かなり遅れた受動制御しかできなかった。

【0032】

これに対し、本発明によれば、機械の応答遅れをも考慮したヨー角、ピッチ角などの能動制御が可能となり、ブレード10は、ほぼ風を最適なピッチ角で受け続けることができる。従って、従来の受動制御に比べ、常に高効率で風力エネルギーを利用できるようになる。

【0033】

また逆に、発生トルクを抑えることにより出力の抑制に使用することもできる。この場合、数式（10）における最適ピッチ角を、発生トルクを抑制できるように任意に設定すれば、容易に出力抑制を達成できる。このように、本発明により、風力発電機を容易にかつ正確に制御することが可能となる。

【0034】

次に、図5を用いて、この実施の形態1の効果を説明する。図5に、風力発電機が実際に受ける風の変化を太実線501（実際の風向変化。）で示す。このように時刻 t_a から t_b にかけて（例えば、 $t_b - t_a = 15$ 秒とする。）、風向が ϕ （例えば $\phi = 21$ 度とする。）だけ変化した場合を考える。

【0035】



従来のヨー角制御手法では、風向が時刻 t_a で変化し始めることは感知できるが、風向が Φ_0 （例えば $\Phi_0 = 15$ 度。）以上変化したのを確認してから、さらにその状態が一定時間（例えば 15 秒。図 5 中の $t_2 - t_3$ 間。）以上続いて、初めてヨー角を変化させ始めるという破線 502（従来の制御によるヨー角変化。）のような受動制御をしていた。これは、ヨー角を変化させるにはかなりの重量物であるナセル 20 部を回転させなければならず、例えば、図 1 のヨー角制御駆動装置 50 がナセル 20 を 1 秒あたり 0.7 度程度しか旋回させることができない場合、21 度旋回させるには 30 秒間の時間が必要であり、その間に風向が変化してしまうかもしれないためである。このため、例えば風速 10 m 程度の発電に適した風が吹いていたとしても、ヨー角制御遅れによる損失が大きかった。

【0036】

これに対し、本発明によれば、太一点鎖線 503（発明の制御によるヨー角変化。）のような能動制御が可能となる。本例では風向変化角速度（ $\Phi / (t_b - t_a)$ ）が最大ヨー角回転角速度（ $\Phi / (t_1 - t_0) = 0.7$ 度/秒。）以上であるため、完全に風を追従することはできない。しかし、レーザ式風向風速計によって得られた風向風速データ（観測結果）から、風力発電機が受ける風の風向風速および風の到達時間などを予測し、予測の到達時間に、予測した風向にプロペラ回転面を合わせるようにヨー角を制御するため、図 5 を見れば明らかなように、ほぼ風を真正面に受けつづけることができる。従って、従来の受動制御に比べ、常に高効率で風力エネルギーを利用できるようになる。風向変化角速度がヨー一回転角速度以下であれば、完全に風向変化を追従することができ、従来の受動制御と比べ、さらに高効率での風力エネルギー利用が可能となる。

【0037】

また本発明によれば、レーザ式風向風速計の本体部 100 がナセル 20 とともに風を真正面に受け続けるように動作するため、ドップラーシフト F_D の値を、より大きな値で得ることができ、従って、風向および風速の検出精度を一層高めることができるという効果もある。

なお、レーザ式風向風速計の光学系部 200 は、ナセル 20 上に配置される場合について述べたが、ナセル 20 に固定して用いる他、ナセル 20 上に光学系部

200を回転駆動させるための制御駆動装置を設け、ナセル20の回転のみによらず、専用の制御駆動装置によって回転する構造とすることもできる。

また、本体部100および信号処理部300は、タワー部2内に配置される例を示したが、これらの配置についても、他の構成部との通信状態を良好に保つことができれば、タワー部2外部に配置しても問題ない。

【0038】

以下、本発明に係わる風力発電システムの出力制御または出力変動抑制制御について詳細に説明する。

風力発電機を含む風力発電システムは、羽根（ブレード）10、ナセル20、発電機30、タワー部2等からなる風力発電機と、風車に向かってくる風を風車の手前で検出するレーザ式風向風速計、同レーザ式風向風速計が算出した風向・風速の予測値に基づき発電出力を予測し、その制御量を決定する制御演算部（例えばコントローラ40に相当する。または、専用の演算部を別途設けて接続配置して用いることも可能である。）からなり、必要な場合にはその制御量を満足するために設置される出力平滑化装置80を含んで構成される。

出力平滑化装置80は、風力発電機の外部に接続配置され、出力を平滑化させるための装置であり、電力変換装置81を介して発電機30に繋がれる電力ケーブル82に接続されている。また、上述したとおり、風力発電機の発電電力が出力される電力系統84と電力変換装置81との間に位置する電力ケーブル82には変圧器83が配置される。

【0039】

風力発電システムの出力抑制の方法として、風車の発電電力量を調整する方法があり、この場合は、レーザ式風向風速計の観測結果に基づいて算出した、風向風速の予測データに基づき、風車の向きを変えるヨー制御、および羽根の角度を変えるピッチ制御を行うことで、風力の入力エネルギーそのものを制御し、風力発電システムの出力制御を行う。

【0040】

なお、レーザ式風向風速計の計測範囲としては、システムの制御が十分余裕をもってできる時間が必要であるが、その余裕を確保する距離としては、通常20

0 m程度あれば十分である。

すなわち、一般に風力発電システムの定格風速としては10～20 m/秒が用いられるが、200 m程度先の風向風速が分かれば、その風が風車に到達するまでに少なくとも数秒～数十秒がかかり、この程度の時間があれば、風車を事前予測制御するための時間として十分である。

【0041】

ここまでは、風力発電機に通常の発電機30を備えたシステムの出力制御において、風力の入力エネルギーそのものを制御する場合について述べたが、可変速発電機を備えた風力発電機にレーザ式風向風速計を設置した場合も同様な制御となる。

図6に可変速風力発電システムの構成概略図を示す。このシステムでは、上述した風力発電機の発電機30に代えて可変速発電機800を備えている。可変速発電機800と電力変換器810（電力変換器810は、可変速発電機800に近い側から、発電機側電力変換器810a、直流コンデンサ811、系統側電力変換器810bが順次接続配置されて構成される。）は電力ケーブル820で繋がれている。さらに、電力系統84と電力変換器810の間に変圧器83が配置され、変圧器83と電力変換器810の間には、出力平滑化装置80が、必要に応じて、電力変換装置81を介して繋がられる。

【0042】

直流コンデンサ811は、可変速発電機800における出力の有効電力を制御するもので、発電機側電力変換器810aから有効電力が直流側に流入してくるために、この直流コンデンサ電圧が上昇する。この直流コンデンサ811電圧と、あらかじめ指令値として与えている直流電圧基準との偏差を増幅して交流側（系統側電力変換器810b側。）の有効電流指令とし、有効電流を増加制御して系統へ電力を流出する。風力発電機の詳細な構成については、通常の発電機30を備えたものと同様であるため、説明は省略する。

【0043】

可変速発電機800においては、その出力を電力変換器（810a、810b）にて制御し、瞬間的に強風が吹いた時は、その風力によるエネルギーを一旦、

可変速発電機 8 0 0 の回転速度の上昇として機械的エネルギーの形で蓄え、逆に風速が弱まった場合には、可変速発電機 8 0 0 の回転エネルギーを電気エネルギーに変換して、結果として風力発電システムの出力を平滑化できる特徴を持つ。すなわち、風力発電システムの出力変動抑制制御を行うことができる。

【 0 0 4 4 】

従来の可変速風力発電システムでは、例えば、長時間（分単位）で風速が弱まった場合、上記と同様に回転速度（回転数）が減少し電氣的出力を平滑化しようとするが、その長時間の出力低下を十分に補うことができず、風速低下による出力電力の減少は免れることはできなかった。

しかし、本発明による事前予測制御を用いれば、風速低下を事前に予測し、出力電力の減少を軽減することができ、出力の平滑化を行うことができる。これ以外の手法で可変速を達成することもできるが、可変速発電が可能であればどのような手法を用いてもよい。

【 0 0 4 5 】

この可変速タイプの風力発電システムに本発明を適用した場合には、電氣的出力を平滑化する特徴をより効果的に実施することができる。すなわち、可変速タイプの風力発電システムにあっては、予測データに基づき、今後取り込む風力エネルギーが大きい時は、計画的に発電することにより最低回転速度、すなわち、機械エネルギーとして蓄勢する容量を最大として待機、あるいは今後取り込む風力エネルギーが弱い時は計画的に回転エネルギーを電気エネルギーに変換して放出することにより、その瞬間瞬間で系統に与える影響を最も小さくするように、風力発電機の回転数を制御すること、また、風力発電システムの発電出力による周波数変動および電圧変動を規定内に抑えつつ、その発生出力を平滑化する制御を行うことができる。

【 0 0 4 6 】

実施の形態 2.

次に、本発明の実施の形態 2 について、図 7 を用いて説明する。図 7 は、複数台の風力発電機 6 1 0 a ～ 6 1 0 c が設置されたウィンドファームの構成図であり、ウィンドファームの中心付近にレーザ式風向風速計の光学系部（風速検出用

光学系部に相当する。) 200を設置した状態を示している。複数台の風力発電機610a~610cの中心付近にタワー部(ポール)601を立て、この上に光学系部用ヨー角制御駆動装置(以下、駆動装置とする。)602を介して光学系部200を載置する。光学系部200を本体部100と光ファイバー130aで繋ぎ、本体部100と信号処理部300を通信系部131aで繋ぎ、信号処理部300とそれぞれの風力発電機のコントローラ40a~40cを通信系部132a~132cで繋ぐ。信号処理部300と駆動装置602は通信系部602aで繋いでいる。また、コントローラ40a~40cは、通信系部70a~70cによってそれぞれ風力発電機610a~610cに繋がられている。

【0047】

なお、駆動装置602は、信号処理部300からの出力をもとに光学系部200の向きを変化させ、常に風の真正面に向くようにするか、または一定速度で回転させることにより全周方向にわたっての風向風速計測を可能とする駆動装置である。周りに遮るものが殆どない場合、光学系部200および駆動装置602を地上に設置しても良い。レーザ式風向風速計は、集光点をタワー部601から最も遠い風力発電機(図7ならば610aに相当する。)の前方X[m](例えば400m先。)として、この点の風向風速を計測可能なものとするか、またはパルス型のレーザを用いてこの距離の風向風速を検出できるものにする。さらに、信号処理部300には、実施の形態1で述べた風向風速信号処理機能以外に、光学系部用ヨー角制御に用いる計算機能、可変速風力発電機を利用する場合には、その出力制御のための計算機能、および各風力発電機のヨー角・ピッチ角制御に用いる計算機能を持たせる。

【0048】

次に、実施の形態2にかかる運転ロジック例を、図8のフロー図を用いて説明する。まず、レーザ風向風速計は現在時刻 τ におけるX[m]先の風向風速を計測する(ステップ701。)。次に、動作1として、光学系部200が受けるt秒後の風向風速計算を行う(ステップ711。)光学系部200がt秒後に最適なヨー角となるようにヨー角を計算し(ステップ712。)、算出した制御信号を駆動装置602に送信し(ステップ713。)、その信号を基に、駆動装置60

2はヨー角を変化させる（ステップ714。）。その計算要領は実施の形態1で記述した手法と同じでよい。ただし、光学系部200を一定速度で回転させることにより全周方向にわたっての風向風速計測を可能とする駆動装置を使用して全周の風況を計測する場合は、このような光学系部200のヨー制御動作を行う必要はない。

【0049】

次に、風力発電機610aの動作2aとして、図8中のステップ721a～724aまでを行う。信号処理部300に内蔵される記憶装置は、レーザ式風向風速計から各風力発電機610a～610cまでの位置をベクトルで（方向と距離で。）記憶しており、このデータをもとに風力発電機610aが t_a 秒後に受けるであろう風の風向風速を計算する（ステップ721a）。その風向風速と風力発電機610aのヨー角の最大回転角速度 ω_{ay} 、ピッチの最大回転角速度 ω_{ap} を基に、上述した実施の形態1と同様にヨー角最適化およびピッチ角最適化、可変速発電機の場合は風車回転数最適化を行い（ステップ722a。）、計算された Δt_a 秒間のヨー角制御信号、ピッチ角制御信号、可変速発電機に対しては発電量制御信号を、風力発電機610aのコントローラ40aに送信する（ステップ723a。）。

【0050】

風力発電機610aのコントローラ40aは、これらの信号を基に、風力発電機610aのヨー角制御駆動装置、ピッチ角制御駆動装置、インバータに制御信号を送信し、ヨー角制御駆動装置がヨー角を変化させ、ピッチ角制御駆動装置がピッチ角を変化させ、可変速発電機の場合はインバータが出力を変化させる（ステップ724a。）。風力発電機610aの動作2aと同様の動作2b、2c（ステップ721c～724c。）を、風力発電機610b、610cについても同時に行う。

以上のように、光学系部200の動作1と風力発電機610a～610cの動作2a～2cを同時に行うことによって、風向風速を最適な状態で計測しながら、各風力発電機610a～610cが風力エネルギーを高効率で利用することが可能となる。

【 0 0 5 1 】

なお、風力発電機が多数ある場合や、かなり広範囲に広がって設置されている場合は、レーザ式風向風速計を複数台設置し、それぞれに制御する風力発電機を割り当てればよい。

また、今回は、この信号処理部 3 0 0 に、光学系部用ヨー角制御の計算機能および各風力発電機のヨー角、ピッチ角、出力制御の計算機構を持たせたが、この計算機能を持つ計算機を、光学系部 2 0 0 に別に接続したり、各風力発電機 6 1 0 a ~ 6 1 0 c 側に計算機部を設置したり、また、コントローラ 4 0 にこの計算機能を持たせるように構成することもできる。

【 0 0 5 2 】

このようなウィンドファームにおいて、それぞれの風力発電機にレーザ風向風速計を取り付け、上述した実施の形態 1 に示すように風力発電機を制御することが可能であることは言うまでもない。

なお、風力発電機の制御は、上述したような、現在の風向風速データおよびそのデータに基づく近未来の風況データを用いて行う予測制御以外に、現在の風向風速データに加え、さらに過去の風況データをフィードバックさせて近未来の風況データを算出して用いる制御がある。過去の風況データをフィードバックさせる制御法を用いた場合は、このデータを用いない場合よりも、さらに精度の高い制御が可能となる。

【 0 0 5 3 】

実施の形態 3.

なお、上記実施の形態 1、2 では、風力発電システムの回転エネルギーを電気エネルギーに変換して制御する場合、すなわち、発生電力をそのまま系統に送出する場合について述べた。この実施の形態 3 では、風力発電システムとして、風力発電機とレーザ式風向風速計と出力平滑化装置を組み合わせたシステムを用いる場合について示す。本発明では、レーザ式風向風速計によって得た風況予測データから、風力発電機の出力調整量を事前に割り出し、その割り出し条件に基づいて出力平滑化装置に余剰電力を蓄勢、あるいは風力の発生電力が不足する場合には蓄えていたエネルギーを放出する構成とし、系統の既存発電システムが追隨

可能なレベルまで変動を抑制するように同出力平滑化装置の運用を行い、システム全体として発生電力の安定化（平滑化）を行う。

【 0 0 5 4 】

風力発電機と組合わされる出力平滑化装置の例としては、蓄電池、無効電力補償装置（Static Var Compensator）、出力制限抵抗等の手段があり、電気エネルギーとして蓄勢・放出が多頻度で繰返し可能なものであれば任意のものを用いることができる。

出力平滑化装置は、レーザ式風向風速計で観測した風が、風力発電機に到達する時点で、風力発電システムの出力変動を打ち消すように出力制御を行うものである。

蓄電池とは、主に大型の直流バッテリーと整流器によって構成されるものである。

【 0 0 5 5 】

また、無効電力補償装置は、風力発電設備を電力系統に接続する場合に、電力系統の電圧変動対策・フリッカ対策（ちらつき防止）に用いる設備である。風力発電においては、発電に必要な風が急激に変動するため、風力発電機の出力は系統の電圧変動を引き起こし、他の機器の異常停止や誤動作、照明機器のちらつきなどが発生する場合があります、これらの対策として無効電力補償装置が必要となる場合がある。

【 0 0 5 6 】

出力制限抵抗とは、風速変動による風力発電機出力の変動を制限・抑制するものであり、風速変動による風力発電機出力がある値を超過した場合に、その超過分を抵抗装置で熱として消費し、出力を制限し、規定値以内の電力を系統へ流出させるためのものである。

【 0 0 5 7 】

具体例として、今まで述べてきた風力発電事前風況予測出力制御装置（レーザ式風向風速計によって得られたデータに基づいて、各種制御量を決定するための装置の総称とする。）と出力平滑化装置 8 0 を組み合わせた、風力発電システムの出力平滑化について、図 9 を用いて説明する。

図 9 に示すように、風力発電機に備えられた発電機 3 0 と電力系統 8 4 とは電力ケーブル 8 2 によって繋がれており、電力ケーブル 8 2 には、電力変換装置 8 1 を介して出力平滑化装置 8 0 が繋がれている。電力変換装置 8 1 と電力系統 8 4 との間には変圧器 8 3 が配置される。

【 0 0 5 8 】

上述した実施の形態 1 および実施の形態 2 で示したように、風力発電の事前風況予測に基づく出力制御を行うだけでも、従来の風力発電設備の弱点である風況変動による風車出力変動を大幅に平滑化（出力安定化）ができるが、さらに、この実施の形態 3 に示すように、出力平滑化装置 8 0 と電力変換装置 8 1 を用いることで、電力系統 8 4 へ送出する風力発電機出力の変動抑制ができ、特に連系する電力系統 8 4 の周波数変動を最小とすることができる。

【 0 0 5 9 】

出力変動平滑化システム（風力発電事前風況予測出力制御装置と、電力変換装置 8 1 と出力平滑化装置 8 0 を含むシステム。）は、風況予測して風力発電出力を予測することにより、出力平滑化装置 8 0 の電力入出力量を予測制御して風力発電システム全体としての出力変動を抑制、または完全な平滑化を容易に達成し、風力発電機を用いて安定した電力の供給を可能とするものである。

【 0 0 6 0 】

本発明は、ピッチ角およびヨー角の制御が可能な風力発電機と、あるいは、そうでない風力発電機との組み合わせにおいても、風力発電機の前（例えば 4 0 0 m）の風向風速を高精度高解像度で測定するレーザ風向風速計、およびレーザ風向風速計からの信号を基に一定時間後（例えば 4 0 秒後。）に風力発電機が受けるであろう風向風速を予測し、出力平滑化装置 8 0 の電力入出力を風力発電機が発生する出力の増減を打ち消す方向に最適化するように運用する。

【 0 0 6 1 】

この制御を行った場合には、図 1 0 に示すように、出力変動が抑制される。風力発電機の発電量は、出力制御を行わない場合は、図 1 0 （a）のように大きく変動する。しかし、近未来の発電量として図 1 0 （b）が予測できるため、風速変動による風車出力の電力量を出力平滑化装置で充電・放電を繰り返すことによ

り、図 1 0 (b) 内の平滑化されたカーブのように出力変動を抑制することができる。

よって系統への出力は図 1 0 (c) のようになり、急激な電力変動がなくなるため、電力系統 8 4 に及ぼす影響を大幅に低減できる。

【0062】

また、出力平滑化装置 8 0 の容量が十分に大きい場合は、風力発電機の出力電力を完全に平滑化することができる。

これにより、電力系統 8 4 にまったく影響を及ぼさずに風力発電機を連系させることができる。

【0063】

図 1 1 に示すように、ある期間における風力発電出力の平均値を風力発電機と出力平滑化装置 8 0 の合成出力目標値とし、風力発電出力が合成出力目標値より大きい場合は、その差を蓄電池等に充電させ、一方、風力発電出力が合成出力目標値より小さい場合は、その差を蓄電池等から放電させる。最大充電電力と最大放電電力は、図 1 1 に示すように、一定の値に決められており、その充放電の限界値が、それぞれ破線で示されており、その範囲内で蓄電池等の充放電を行うことで、合成出力目標値を達成することが可能である。

本発明を用いると、風力発電機の出力が予測されており、従来の手法では平滑化できなかったごく微小な電力変動をも平滑化することが可能となる（平滑化の様子は、例えば図 1 0 (c) を参照のこと。）。

なお、図 9 において、出力平滑化装置 8 0 としては本来の出力平滑化装置のほか、負荷が有する出力平滑化機能を積極的に利用しても良い。

【0064】

図 1 2 では風力発電システムの制御ブロック図の一例を示す。レーザ式風向風速計の観測結果から、風車に吹く風の平均風速 V_{ave} を、電力制御関数 F_o 、可変速風車の場合は回転数制御関数 F_R 、ヨー制御関数 F_Y 、ピッチ角制御関数 F_P にあてはめ、出力電力指令値 P_1 、ヨー指令値 Y 、ピッチ角指令値 P_2 を割り出し、その割り出し条件に基づき、出力平滑化装置 8 0 の電力入出力量を調整し、ヨー角駆動制御装置 5 0、ピッチ角駆動制御装置 6 0 を駆動させる。

図 1 2 において、風力発電設備では発電電力の安定化、低風速域での性能向上などのため、出力電力制御、回転数制御、ヨー制御、ピッチ角制御の各制御項目を制御しているが、出力電力制御のための装置（例えば、コントローラ 4 0、またはそれに準ずる機能を持つ装置。）から出力平滑化装置 8 0 に風力発電出力の合成出力目標値としての指令値を送り、出力平滑化装置 8 0 の入出力信号として

【 0 0 6 5 】

次に、図 1 3 と図 1 4 に、風力発電機と出力平滑化装置 8 0 を組み合わせた場合の動作フローを図 7 で示したウィンドファームにおける風力発電システムを例に挙げて説明する。なお、図 1 3 の G, H は図 1 4 の G, H にそれぞれつながり、図 1 3 と図 1 4 を合わせて一つのフロー図を表す。図 1 3 と図 1 4 中のステップ 7 0 1 からステップ 7 2 4 a の動作（動作 1 および 2 a ～動作 2 c を含む。）については、実施の形態 2 で説明したため、その説明は省略する。

ここで、出力平滑化装置 8 0 は、図 1 4 中のステップ 9 3 1 からステップ 9 3 4 までの動作 3 を行う。信号処理部 3 0 0 は、レーザ式風向風速計から各風力発電機までの位置をベクトルで記憶しており、レーザ式風向風速計の計測結果およびこの位置データを基に、各風力発電機が t 秒後に受けるであろう風向風速を計算する（ステップ 9 3 1.）。信号処理部 3 0 0 は、この各風力発電機が近未来に受ける風向風速により、近未来 t 秒間の風力発電機発電量を計算し、これを用いて t 秒間の出力平滑化装置 8 0 における電力入出力量を最適化する（ステップ 9 3 2.）。その最適化手法は実施の形態 2 の場合と同じとする。このときの風力発電機の出力は、全風力発電機の発電電力の合計値である。

【 0 0 6 6 】

実際の出力平滑化装置 8 0 の電力入出力がこの計算された最適値となるよう、信号処理部 3 0 0 は電力変換装置 8 1 に制御信号を送る（ステップ 9 3 3.）。

これらの制御信号により、電力変換装置 8 1 が出力平滑化装置 8 0 の電力入出力を行い、風力発電機の発電電力による系統電力の変動を抑制する（ステップ 9 3 4.）。これらの動作を行い、これを繰り返すことにより、図 1 0. (c) で示したような、風力発電システムの出力変動抑制制御が可能となる。

【 0 0 6 7 】

実施の形態 4 .

また、風力発電機と他の発電手段の、同じ電力系統 8 4 に繋いだ風力発電システム（ハイブリッド発電システム。）の場合、レーザ式風向風速計から得たデータに基づいて、風力発電機の出力予測を行うことで、風力発電機の制御量、他発電手段の制御量を予測でき、結果として、システム全体の出力平滑化が可能となる。このように、風況予測を、風力以外のエネルギーを発電に用いる他発電手段が持つ、各種制御装置の運用にも活かすことで、システム全体の出力平滑化制御を、より効果的に行うことができる。

【 0 0 6 8 】

他発電手段としては、例えば、ディーゼル発電、蓄電池、太陽光発電、可変速ポンプなどがある。さらに、このハイブリッド発電システムに、負荷を組み合わせることで、出力平滑化をより効率良く行うことができる。

【 0 0 6 9 】

【発明の効果】

以上のように、この発明の風力発電システムによれば、風力発電機、上記風力発電機に取り付けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計を備え、上記レーザ式風向風速計は、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測し、その観測結果に基づいて、上記風力発電機のヨー角・ピッチ角を制御し、上記風力発電機を含む風力発電システムの出力制御を行うため、高効率運転制御を行うことができる。

【 0 0 7 0 】

また、この発明の風力発電システムによれば、風力発電機、上記風力発電機に取り付けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計、上記風力発電機に繋がる出力平滑化装置を備え、上記レーザ式風向風速計は、上記風力発電機に向ってくる風の風向風速を観測し、その観測結果に基づいて、上記風力発電機の出力調整量を事前に割り出し、その割り出し条件に基づいて、上記風力発電機および上記出力平滑化装置を含む風力発電システムの出力制御を行い、上記風力発電システム全体の出力平滑化を行うため、風力発電システムの出力変動

抑制、または出力量の平滑（安定）化を精密に行い、電力供給を安定化させることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の実施の形態 1 による風力発電機を示す断面図である。

【図 2】 この発明の実施の形態 1 によるレーザ式風向風速計を示す構成図である。

【図 3】 この発明の実施の形態 1 による S 偏光、P 偏光を示す模式図である。

【図 4】 この発明の実施の形態 1 によるヨー角・ピッチ角制御ロジックを示すフロー図である。

【図 5】 この発明の実施の形態 1 による、出力変動抑制制御の様子を示した図である。

【図 6】 この発明の実施の形態 1 による、可変速発電機に電力変換器、出力平滑化装置を接続配置した構成図である。

【図 7】 この発明の実施の形態 2 によるウィンドファームの構成図である。

【図 8】 この発明の実施の形態 2 による制御ロジックを示すフロー図である。

【図 9】 この発明の実施の形態 3 による出力平滑化装置を備えた風力発電システムの構成図である。

【図 10】 この発明の実施の形態 3 による風力発電システムの出力値平滑化の様子を示す図である。

【図 11】 この発明の実施の形態 3 による風力発電システムの合成出力目標値と風力発電出力を示す図である。

【図 12】 この発明の実施の形態 3 による風力発電システムの制御ブロック図である。

【図 13】 この発明の実施の形態 3 による風力発電システムの制御を示すフロー図である。

【図 14】 この発明の実施の形態 3 による風力発電システムの制御を示す

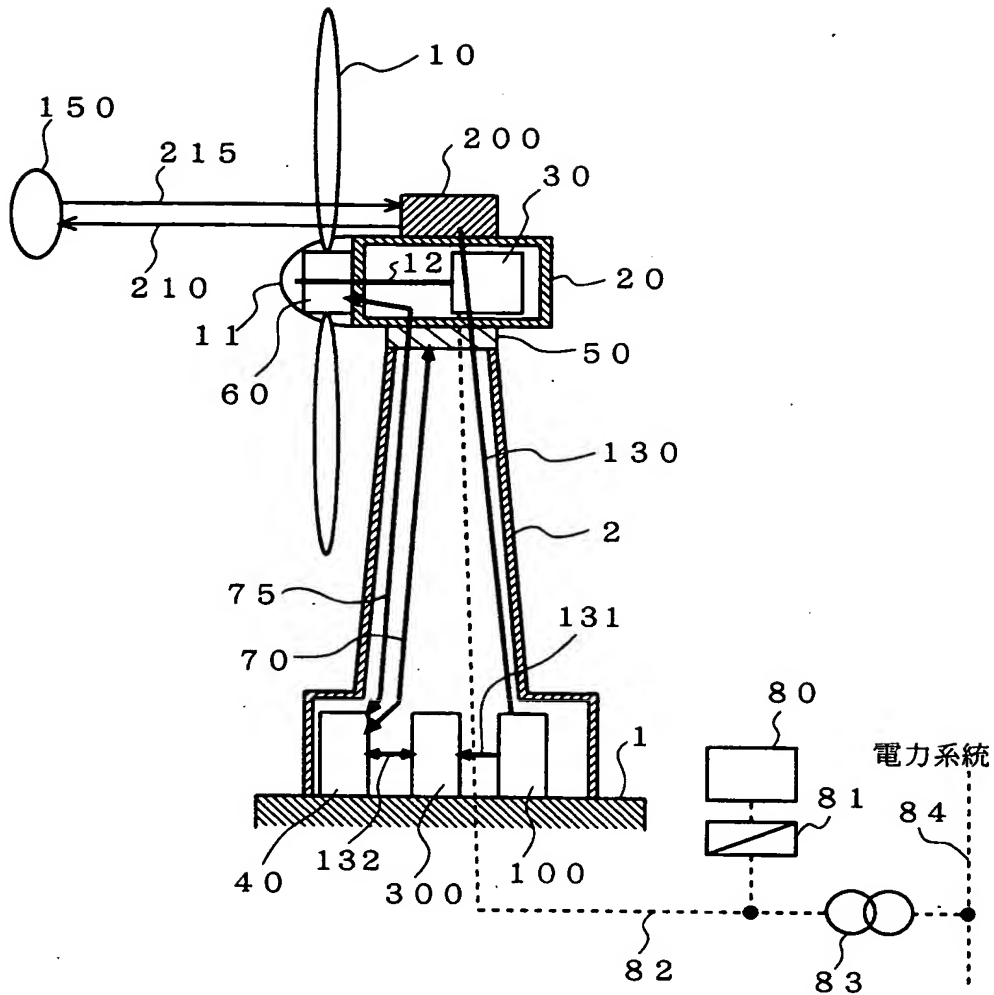
フロー図で、図13と合わせて一つのフロー図を表す。

【符号の説明】

- | | |
|--|--------------------|
| 1 台座 | 2、601 タワー部 |
| 10 ブレード | 11 ハブ |
| 12 回転軸 | 20 ナセル |
| 30 発電機 | 40、40a～40c コントローラ |
| 50 ヨー角制御駆動装置 | 60 ピッチ角制御駆動装置 |
| 70、70a～70c、75、131、131a、132、132a～132c、602a 通信系部 | |
| 80 出力平滑化装置 | 81 電力変換装置 |
| 82、820 電力ケーブル | |
| 83 変圧器 | 84 電力系統 |
| 100 風向風速計本体部 | 101 レーザ光源 |
| 102、130、130a 光ファイバー | |
| 103 光スイッチ | 104 サーキュレータ |
| 105 光受信機 | 106 トリガ |
| 107 検出信号 | 150 エアロゾル |
| 200 風速検出用光学系部 | 200a 水平風速検出用光学系部 |
| 200b 垂直風速検出用光学系部 | |
| 201 1/2波長板 | 202 望遠鏡 |
| 203 偏光ビームスプリッタ | 204 全反射鏡 |
| 205、207 P偏光 | 206、208 S偏光 |
| 210 レーザ光 | 215、216 反射光 |
| 300 風況解析制御信号送信部 | 310 AD変換器 |
| 311 受信信号 | 602 光学系部用ヨー角制御駆動装置 |
| 610a～610c 風力発電機 | 800 可変速発電機 |
| 810 電力変換器 | 810a 発電機側電力変換器 |
| 810b 系統側電力変換器 | 811 直流コンデンサ。 |

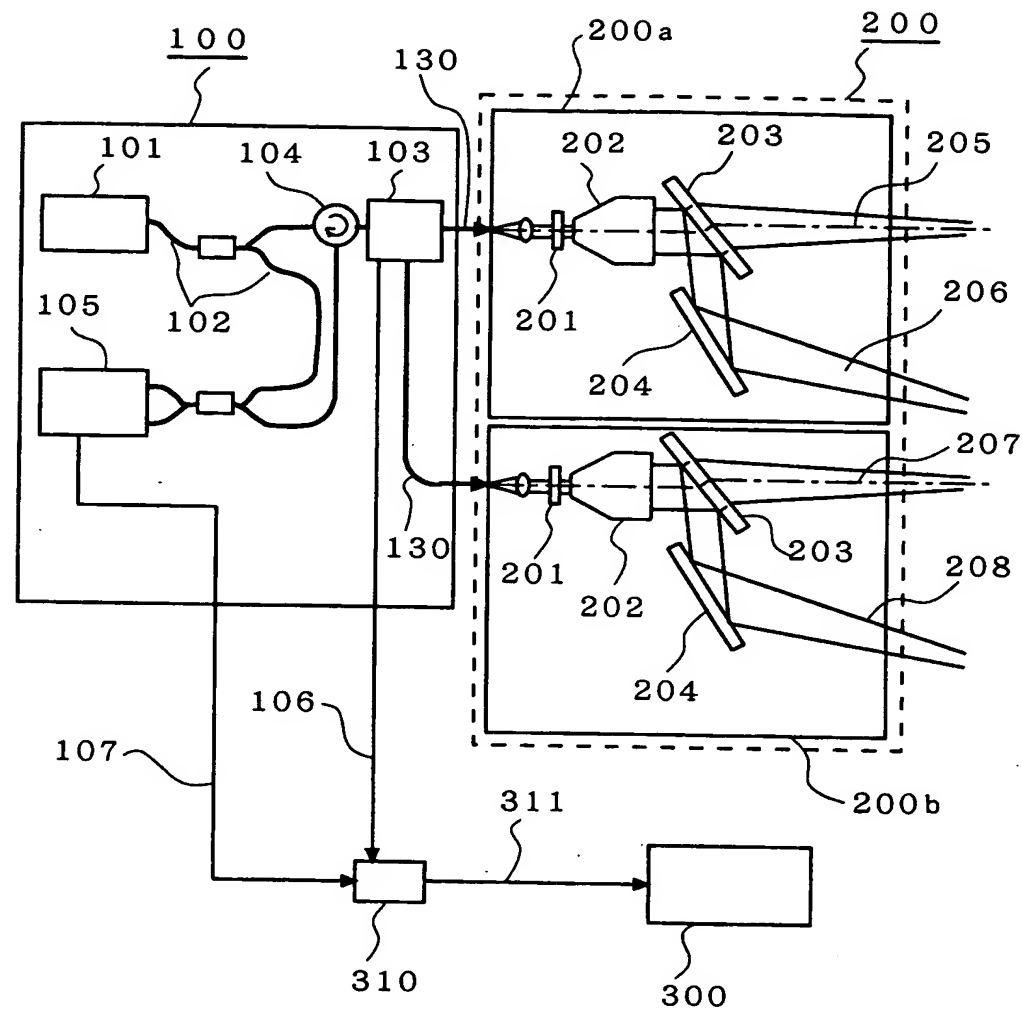
【書類名】 図面

【図 1】



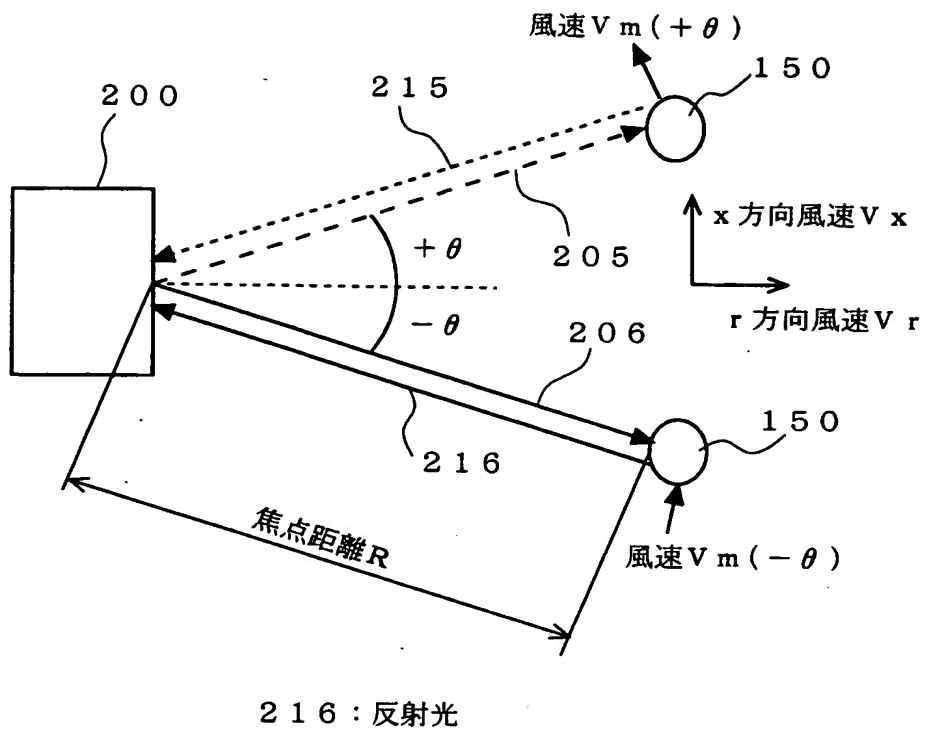
- | | | |
|-----------------|-------------------------|------------------|
| 1 : 台座 | 70, 75, 131, 132 : 通信系部 | 80 : 出力平滑化装置 |
| 2 : タワー部 | | 81 : 電力変換装置 |
| 10 : ブレード | | 82 : 電力ケーブル |
| 11 : ハブ | | 83 : 変圧器 |
| 12 : 回転軸 | | 100 : 風向風速計本体部 |
| 20 : ナセル | | 130 : 光ファイバー |
| 30 : 発電機 | | 150 : エアロゾル |
| 40 : コントローラ | | 200 : 風速検出用光学系部 |
| 50 : ヨー角制御駆動装置 | | 210 : レーザ光 |
| 60 : ピッチ角制御駆動装置 | | 215 : 反射光 |
| | | 300 : 風向風速計信号処理部 |

【図 2】

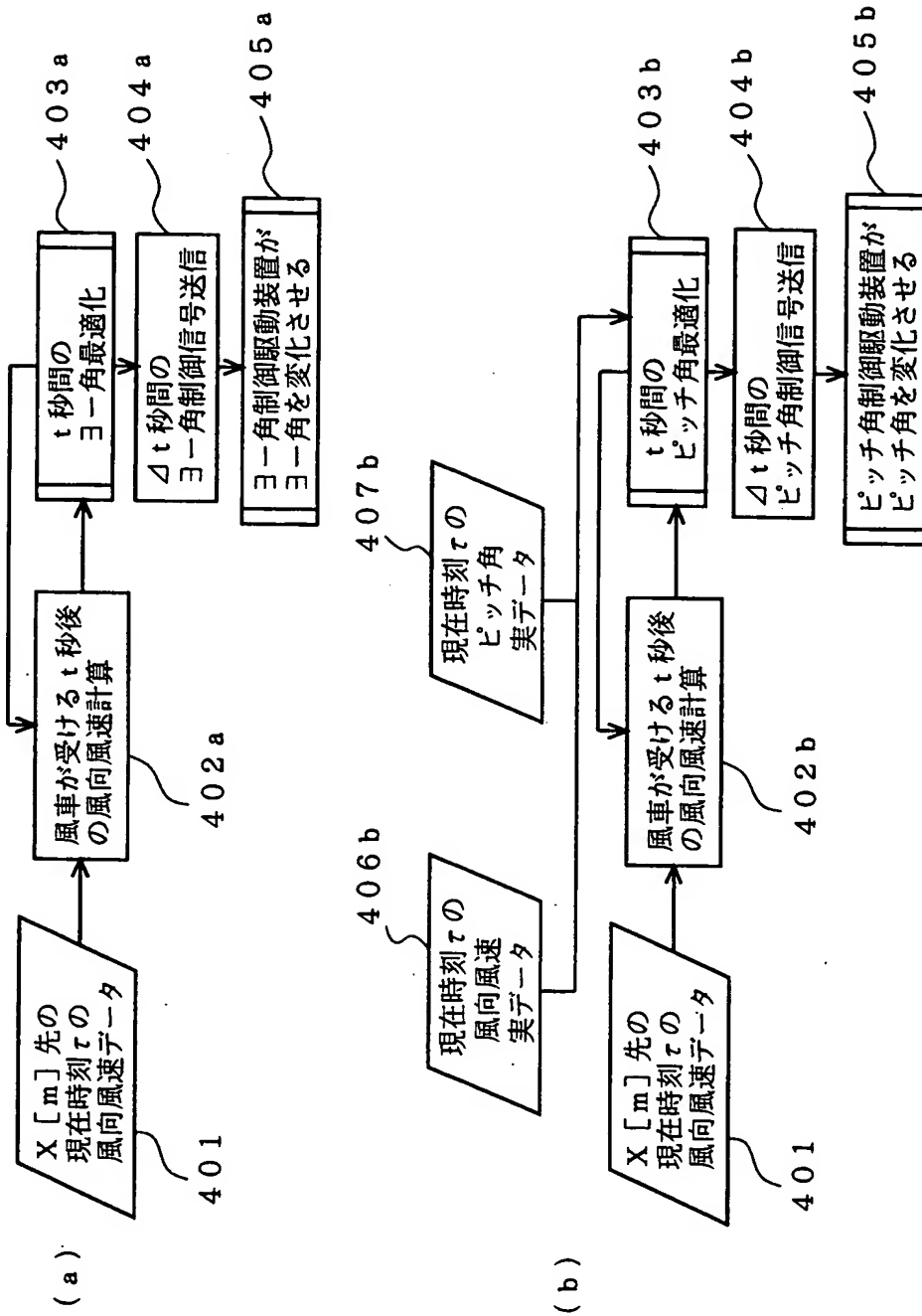


- | | |
|--------------------|------------------|
| 100 : 風向風速計本体部 | 201 : 1/2波長板 |
| 101 : レーザ光源 | 202 : 望遠鏡 |
| 102 : 光ファイバー | 203 : 偏光ビームスプリッタ |
| 103 : 光スイッチ | 204 : 全反射鏡 |
| 104 : サーキュレータ | 205, 207 : P偏光 |
| 105 : 光受信機 | 206, 208 : S偏光 |
| 106 : トリガ | 300 : 風向風速計信号処理部 |
| 107 : 検出信号 | 310 : A/D変換器 |
| 200a : 水平風速検出用光学系部 | 311 : 受信信号 |
| 200b : 垂直風速検出用光学系部 | |

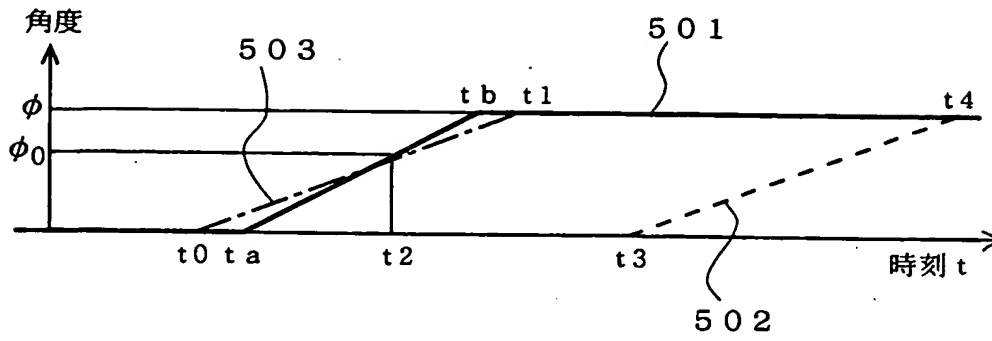
【図 3】



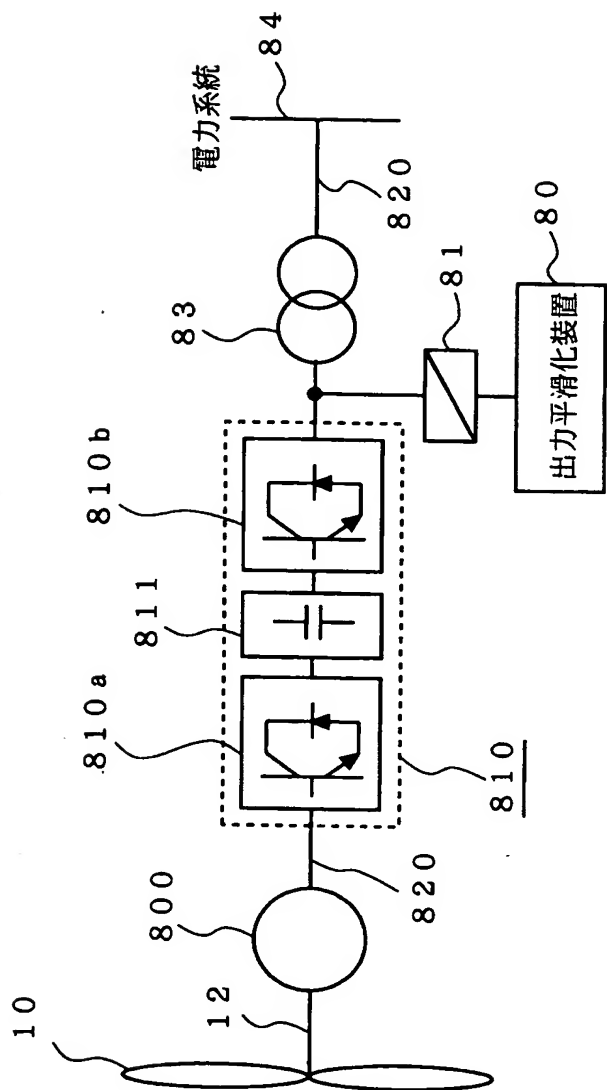
【図 4】



【図 5】

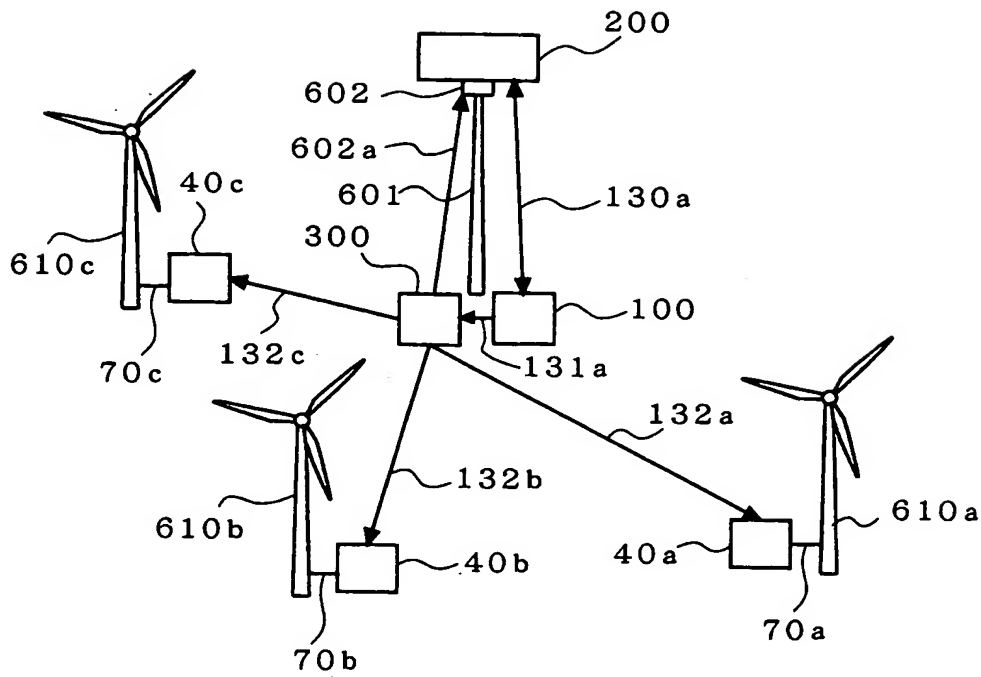


【図 6】



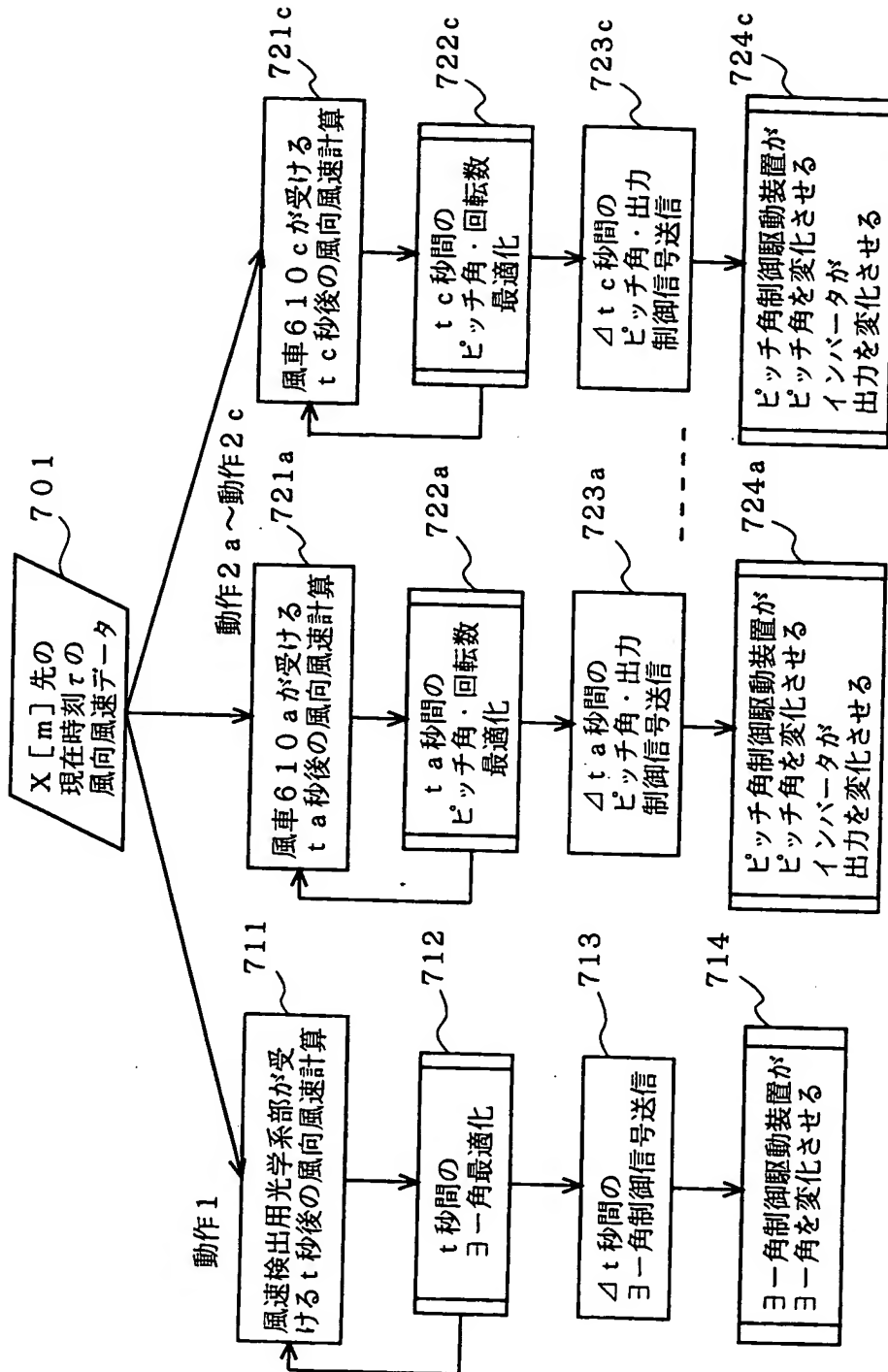
- | | |
|------|-------------|
| 810a | : 発電機側電力変換器 |
| 810b | : 系統側電力変換器 |
| 811 | : 直流コンデンサ |
| 820 | : 電力ケーブル |
| 81 | : 電力変換装置 |
| 83 | : 変圧器 |
| 800 | : 可変速発電機 |
| 810 | : 電力変換器 |

【図 7】

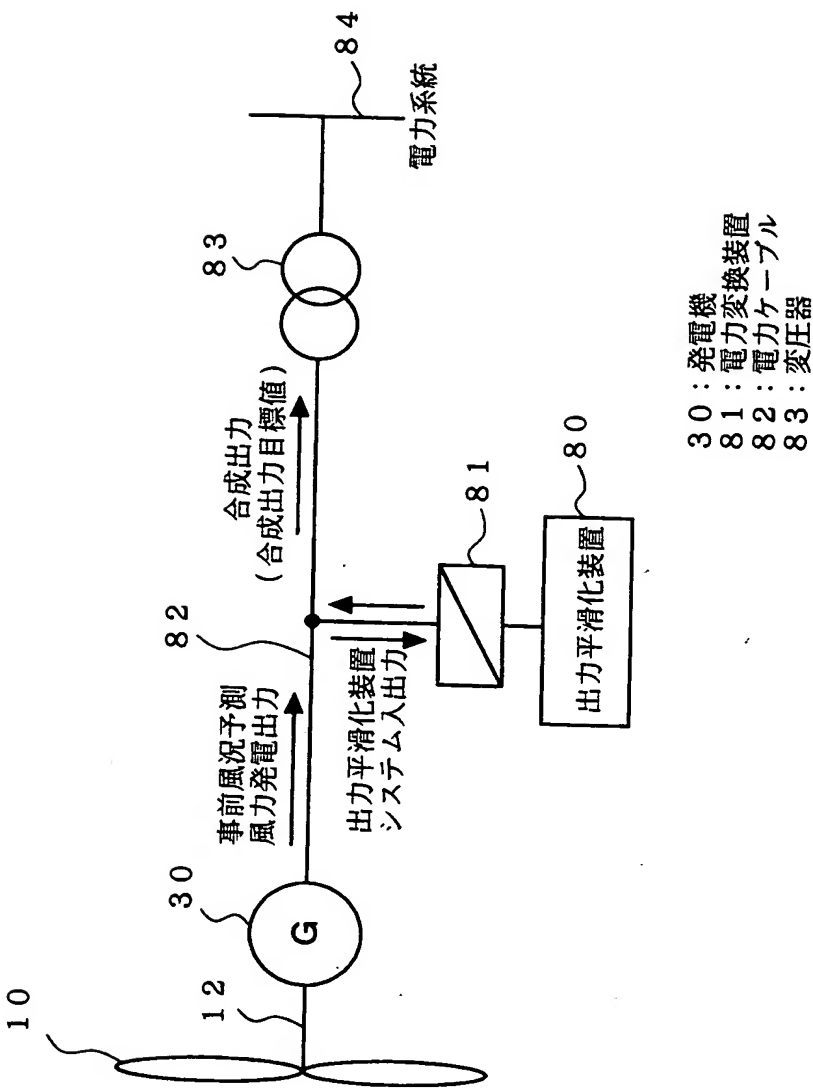


- 40a~40c : コントローラ
- 70a~70c : 通信系部
- 131a, 132a~132c : 通信系部
- 602a : 通信系部
- 130a : 光ファイバー
- 601 : タワー部
- 602 : 光学系部用ヨー角制御駆動装置
- 610a~610c : 風力発電機

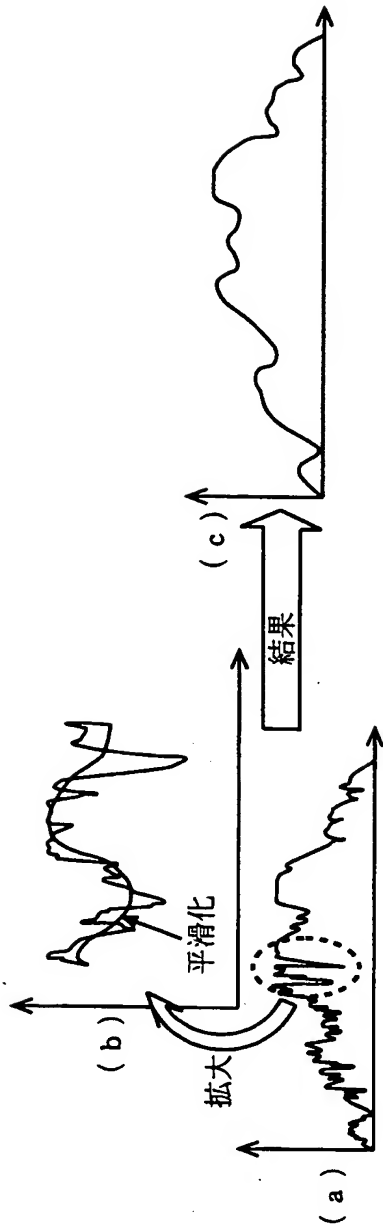
【図 8】



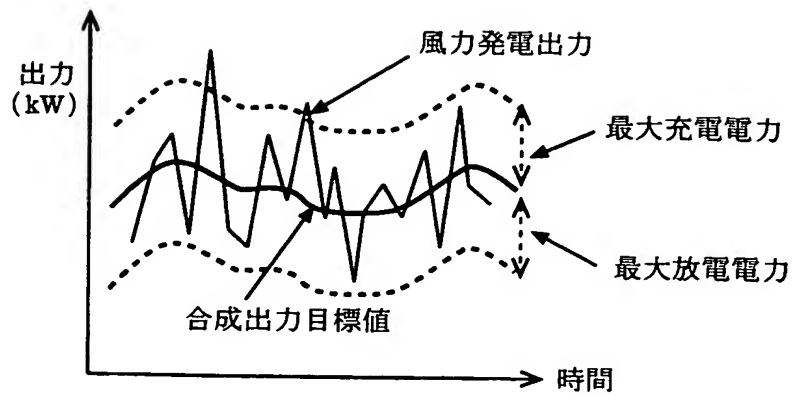
【図9】



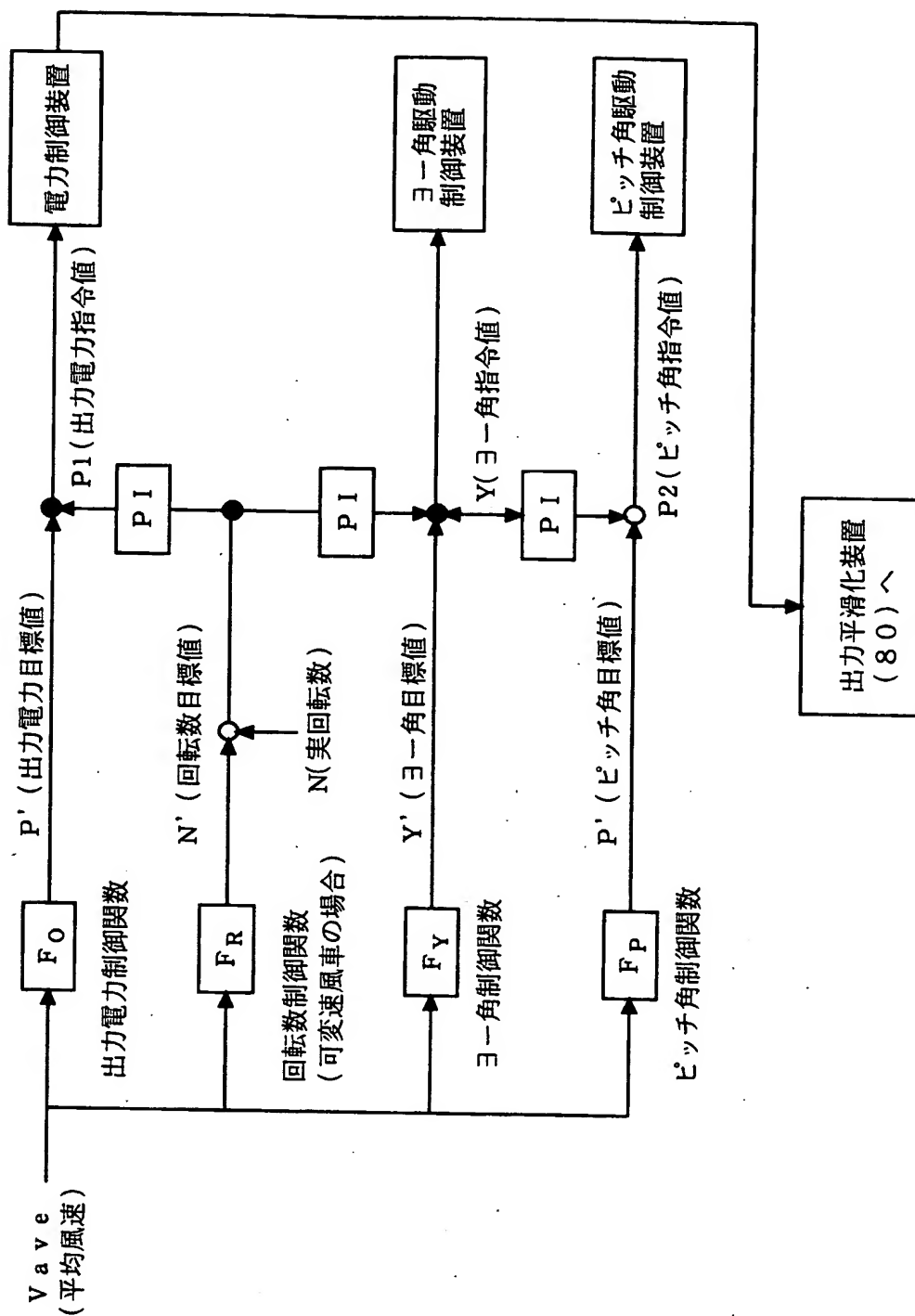
【図10】



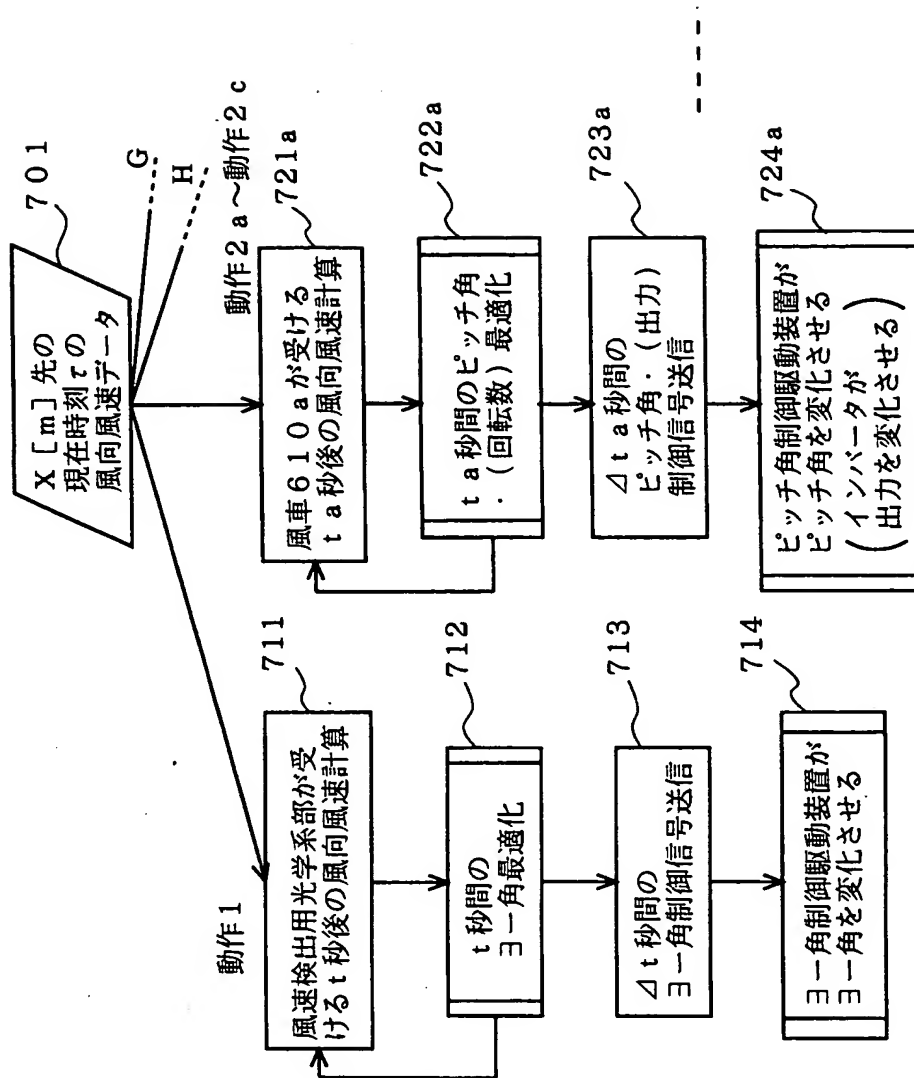
【図 11】



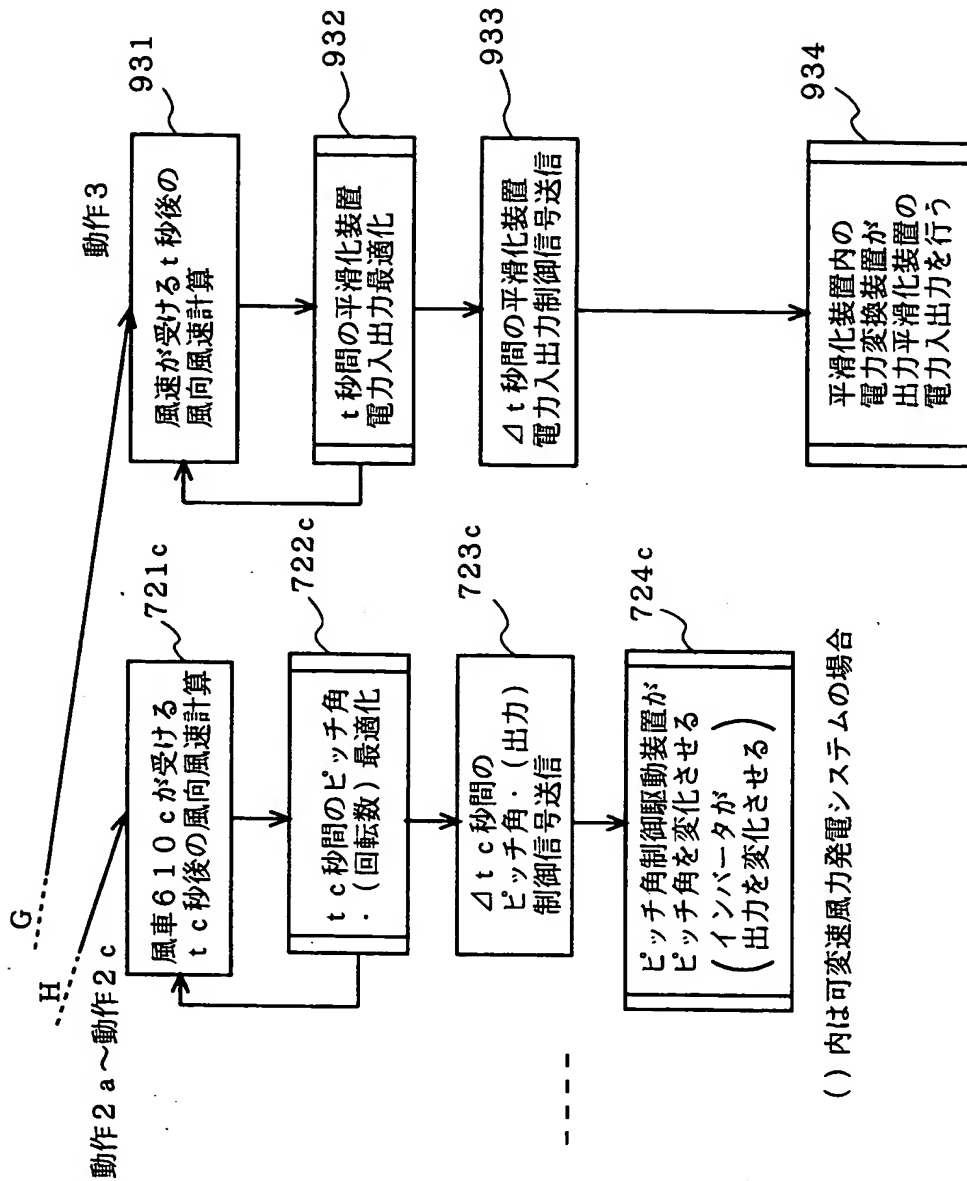
【図 12】



【図 13】



【図 1 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 出力電力の高効率化や平滑化が可能な風力発電システムを得る。

【解決手段】 この発明の風力発電システムは、風力発電機と、その風力発電機に取り付けられるか、またはその近傍に配置されるレーザ式風向風速計を備えている。レーザ式風向風速計を用い、風力発電機に向ってくる風の風向風速を事前に観測し、その観測結果に基づいて、風力発電機のヨー角・ピッチ角を予測制御し、風力発電機を含む風力発電システムの高効率化運転制御を行う。また、風力発電機に繋がれる出力平滑化装置を備えることで、風力発電機の予測出力値に基づいて出力平滑化装置の電力入出力量を予測制御し、風力発電システム全体の出力平滑化を図る。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号
氏 名 三菱電機株式会社